

SISTEM DRAINASE PADA JALAN PANTURA: PERMASALAHAN DAN ALTERNATIF SOLUSI

Sri Prabandiyani R. Wardani

Program Doktor Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro
Jln. Hayam Wuruk 5-7, Semarang
Tlp. (024) 8311946
wardani_spr@yahoo.com

Suripin

Program Doktor Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro
Jln. Hayam Wuruk 5-7, Semarang
Tlp. (024) 8311946
suripin_ar@gmail.com

Soebroto

Asosiasi Aspal Beton Indonesia
Jln. Puri Anjasmoro Blok I-1
No. 12, Semarang, Jawa Tengah
Tlp. (024) 762278

Muhrozi

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Soedarto, SH.,
Tembalang
Semarang 50275
Tlp. (024) 7474770
muhrozi.rozi@yahoo.com

Bagus Hario Setiadji

Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Soedarto, SH.,
Tembalang
Semarang 50275
Tlp. (024) 7474770
bhsetiadji@undip.ac.id

Abstract

Pantura Jawa Road is one of the most important national roads because this road connects major economic centers in Indonesia, namely Jakarta and Surabaya. An issue recently developed on Pantura Road is premature damage due to the drainage system malfunction. To reveal the drainage system problems at the Pantura Road, this paper described the condition of the existing pavement system and its drainage system, and a review of the design manual of drainage system which is used. The road deterioration on the Pantura Road is caused by the insufficient pavement bearing capacity to carry overloading traffic and to sustain the environment impact along the roads. Therefore, integrated transport infrasatraktur transport discourse for the Pantura Road needs to be realized. To support this discourse and the effort to enhance the Pantura Road, several alternative solutions related to the drainage system on the Pantura Road are proposed at the end of this article with the purpose of maintaining the pavement structure the road so that the road can reach its lifespan.

Keywords: Pantura Jawa Road, road pavement systems, road drainage system, road deterioration

Abstrak

Jalan Pantura Jawa merupakan salah satu jalan nasional terpenting karena jalan ini menghubungkan pusat perekonomian utama di Indonesia, yaitu Jakarta dan Surabaya. Suatu isu yang berkembang pada Jalan Pantura saat ini adalah kerusakan dini karena terganggunya sistem drainase jalan. Untuk mengungkap permasalahan pada sistem drainase Jalan Pantura, pada artikel ini dipaparkan kondisi sistem perkerasan Jalan Pantura eksisting berikut sistem drainasenya, dan tinjauan terhadap manual desain perencanaan sistem drainase yang telah digunakan. Kerusakan pada Jalan Pantura disebabkan daya dukung perkerasan dan lingkungan di sepanjang jalan tersebut kurang dapat mendukung beban lalu lintas berlebih dan pengaruh lingkungan yang ada. Oleh karena itu, wacana untuk melakukan integrasi infrastruktur transportasi di Pantura Jawa diharapkan dapat segera direalisasikan. Untuk mendukung wacana ini dan mendukung upaya pembenahan Jalan Pantura, beberapa alternatif solusi yang terkait dengan sistem drainase pada Jalan Pantura diusulkan pada bagian akhir artikel ini dengan tujuan menjaga struktur perkerasan pada Jalan Pantura agar dapat mencapai akhir umur layanannya.

Kata-kata kunci: Jalan Pantura Jawa, sistem perkerasan jalan, sistem drainase jalan, kerusakan jalan

PENDAHULUAN

Jalan Pantura Jawa merupakan salah satu jalan nasional terpenting yang dikelola oleh Pemerintah Pusat dan merupakan urat nadi perekonomian nasional karena menghubungkan dua kota terbesar di Indonesia, yaitu Jakarta dan Surabaya. Jalan ini telah menjadi perhatian utama selama bertahun-tahun disebabkan besarnya beban lalu lintas (terutama transportasi logistik) yang harus ditanggung tidak sebanding dengan daya dukung struktur perkerasan jalan, sehingga menimbulkan kerusakan jalan dan upaya peningkatan struktur perkerasan jalan yang tiada henti.

Pada saat ini isu yang berkembang pada Jalan Pantura Jawa adalah kerusakan dini setelah konstruksi, terutama pada musim hujan, dan rutinitas kemacetan pada waktu konstruksi, meskipun Kementerian Pekerjaan Umum telah mencanangkan “Tahun Kualitas” sejak tahun 2003 dan memprogramkan penanganan jalan tanpa lubang (*zero potholes*) pada jalan strategis. Komitmen tersebut belum terwujud karena adanya beberapa kendala, seperti permasalahan sosial, perilaku pengguna jalan, pertumbuhan bangunan di sepanjang Jalan Pantura, belum adanya penegakan hukum terhadap pelanggaran garis sepadan bangunan (GSB) jalan, serta biaya pemeliharaan jalan yang relatif kurang. Selain permasalahan-permasalahan tersebut di lapangan masih ditemui permasalahan teknis, seperti kondisi tanah dasar yang lembek, ketersediaan material dengan kualitas baik yang semakin menipis, beban lalu lintas berlebih yang semakin meningkat, dan waktu pembebanan yang semakin lama akibat kinerja lalu lintas yang menurun karena tingginya hambatan samping, waktu pelaksanaan konstruksi yang relatif singkat sehingga lapis fondasi masih rentan terhadap penurunan, dan semakin banyaknya permukaan jalan eksisting yang lebih rendah daripada daerah sekitarnya sehingga sistem drainase jalan tidak berfungsi dengan baik.

Terkait dengan sistem drainase jalan, komponen sistem perkerasan jalan ini berperan penting dalam menjaga agar kinerja struktur perkerasan jalan tetap prima, meskipun sistem drainase selama ini menjadi salah satu bagian sistem perkerasan jalan yang paling sering diabaikan. Apa yang telah direncanakan sebagai sistem drainase yang ideal, seiring dengan waktu, seringkali mengalami penurunan fungsi, sehingga bila tidak segera ditangani dengan kegiatan pemeliharaan rutin atau pemeliharaan berkala dapat memberikan kontribusi pada penurunan kinerja perkerasan jalan.

Gangguan fungsi drainase dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti desain geometrik jalan yang tidak sesuai standar, tidak berjalannya sistem monitoring terhadap fungsi kelengkapan infrastruktur jalan oleh instansi terkait, serta kurangnya perencanaan dan pengawasan akan integrasi sistem drainase jalan dengan sistem drainase lingkungan atau parsial. Sebenarnya gangguan ini dapat terjadi di semua jalan, termasuk Jalan Pantura Jawa sebagai jalan nasional. Dengan kewenangan penanganannya yang ada pada Pemerintah Pusat seharusnya kegiatan pemeliharaan sistem drainase dapat lebih optimal.

Pada kajian ini dibahas kondisi eksisting Jalan Pantura yang terkait dengan sistem perkerasan Jalan Pantura. Termasuk di dalamnya adalah sistem drainase, ilustrasi

kerusakan perkerasan jalan karena tidak terpeliharanya sistem drainase pada Jalan Pantura, dan alternatif solusi yang bisa ditawarkan untuk meminimumkan kerusakan jalan sebagai akibat dari gangguan fungsi drainase.

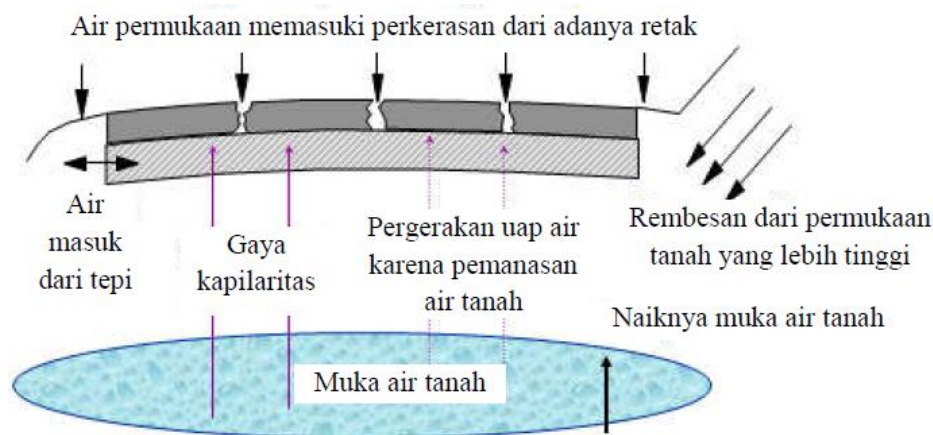
KONDISI GEOGRAFIS, GEOLOGI, DAN TANAH PADA JALAN PANTURA

Secara geografis ruas jalan Pantura Jawa terletak pada dataran rendah yang sarat dengan berbagai permasalahan, seperti:

- 1) Banyaknya pemukiman sepanjang Jalan Pantura menyebabkan arus lalu lintas kurang lancar, sistem drainase jalan kurang berfungsi secara baik, dan sulitnya pengaturan Ruang Pengawasan Jalan (Ruwasja).
- 2) Sering terjadi banjir atau genangan pada perkerasan jalan sehingga mempercepat kerusakan jalan.
- 3) Muka air tanah tinggi pada waktu musim hujan sehingga daya dukung tanah dasar dan lapis fondasi cepat menurun akibat air terjebak pada tanah dasar.

Sebagian besar ruas jalan ini terletak pada dataran rendah, delta sungai, tanah basah, rawa, tambak, serta dataran bekas danau dan laut. Seologis sebagian besar ruas jalan Pantura terletak pada endapan *alluvial* muda berupa lempung sangat lunak sampai lunak dan tersisipi oleh lensa pasir tipis sangat lepas sampai lepas. Lapisan tanah keras sendiri berada pada kedalaman antara (20-50) m dari permukaan tanah setempat. Kondisi seperti ini menyebabkan tanah mudah mampat dan mempunyai daya dukung yang rendah dan menjadi sumber permasalahan, seperti penurunan tanah secara menyeluruh (*land-subsidence*), penurunan konsolidasi secara berlebihan pada *oprit* jembatan, permasalahan stabilitas timbunan seperti *spreading*, *sinking*, dan *sliding*, serta kegagalan konstruksi fondasi akibat drainase yang buruk.

Lapisan lempung lunak merupakan material fondasi yang jelek, karena kadar airnya tinggi, permeabilitas rendah, nilai kompresibilitas, dan perilaku kembang susut yang tinggi. Untuk menghindari air tanah yang tinggi atau air banjir, ruas Jalan Pantura harus dibangun di atas timbunan tanah yang cukup tinggi. Namun fakta di lapangan menunjukkan bahwa *finish grade* perkerasan pada ruas jalan eksisting relatif rendah, alinyemen vertikal jalan sangat datar, dan permukaan daerah pemukiman lebih tinggi. Kondisi ini memberikan kontribusi pada sulitnya untuk mengalirkan air permukaan dan air tanah dangkal. Adanya air permukaan dan air tanah dangkal menyebabkan potensi air memasuki perkerasan jalan, yang seharusnya bersifat kedap, menjadi sangat besar, seperti diilustrasikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Ilustrasi Jenis-jenis Pengaruh Air pada Perkerasan Jalan (Nantung, 2014)

TINJAUAN PEDOMAN DESAIN TERKAIT PERENCANAAN SISTEM DRAINASE PADA JALAN PANTURA

Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antarkota No. 038/TBM/1997

Jalan Pantura merupakan jalan antarkota dengan fungsi arteri primer. Perencanaan drainase untuk jenis jalan ini dapat ditinjau dari beberapa manual desain yang ada dan digunakan di Indonesia. Manual desain yang pertama adalah Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antarkota No. 038/TBM/1997 (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1997). Peninjauan manual desain ini dengan pertimbangan bahwa pada saat melakukan perencanaan geometrik suatu ruas jalan semestinya pihak perencana juga mempertimbangkan adanya saluran drainase. Di manual desain ini hanya disebutkan bahwa setiap permukaan perkerasan harus mempunyai kemiringan melintang normal untuk keperluan drainase permukaan, yaitu sebesar 3%-4% (untuk perkerasan aspal/beton) dan 4%-5% untuk perkerasan kerikil. Namun tidak ada pedoman untuk menentukan dimensi saluran drainase di manual ini.

Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Pd T-01-2002-B

Pada Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Pd T-01-2002-B, kualitas drainase suatu jalan dapat dinyatakan dengan seberapa lama air menghilang dari struktur perkerasan. Hal ini diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Klasifikasi Kualitas Drainase Menurut Pd T-01-2002-B

Kualitas Drainase	Air Hilang dalam
Baik sekali	2 jam
Baik	1 hari
Sedang	1 minggu
Jelek	1 bulan
Jelek sekali	air tidak mengalir

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2002

Kualitas drainase sedang pada Tabel 1 dapat diartikan bahwa sistem drainase yang mendukung sistem perkerasan tidak berfungsi secara optimal sehingga air permukaan, yang menggenangi perkerasan jalan, akan menghilang secara perlahan-lahan sampai dengan periode 1 minggu. Untuk dapat menyertakan sistem drainase dalam perencanaan perkerasan jalan, Direktorat Jenderal Bina Marga, mengikuti desain manual AASHTO 1993, menggunakan satu parameter yang dikenal sebagai koefisien drainase atau “m” yang merupakan fungsi dua variabel, yaitu kualitas drainase dan persen waktu struktur perkerasan dipengaruhi oleh kadar air yang mendekati jenuh. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Koefisien Drainase “m” pada Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur

Kualitas Drainase	Persen Waktu Struktur Perkerasan Dipengaruhi oleh Kadar Air yang Mendekati Jenuh			
	< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Baik sekali	1,40 - 1,30	1,35 - 1,30	1,30 - 1,20	1,20
Baik	1,35 - 1,25	1,25 - 1,15	1,15 - 1,00	1,00
Sedang	1,25 - 1,15	1,15 - 1,05	1,00 - 0,80	0,80
Jelek	1,15 - 1,05	1,05 - 0,80	0,80 - 0,60	0,60
Jelek sekali	1,05 - 0,95	0,80 - 0,75	0,60 - 0,40	0,40

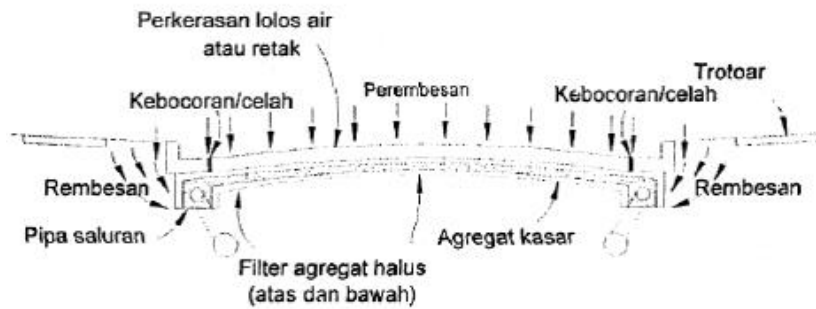
Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2002

Koefisien drainase atau “m” bersama-sama dengan tebal lapisan dan kekuatan relatif material atau “a” digunakan untuk menghitung indeks tebal perkerasan (ITP) atau *structural number*, yaitu suatu parameter yang mengindikasikan besarnya daya dukung perkerasan dan dinyatakan dengan tebal lapisan perkerasan yang sangat bergantung pada kualitas material penyusunnya dan kondisi sistem drainase. Pada pedoman ini koefisien drainase hanya memberikan indikasi seberapa baik sistem drainase pada sistem perkerasan eksisting dan tidak memberikan panduan mengenai detail perencanaan drainasenya.

Perencanaan Sistem Drainase Jalan Pd T-02-2006-B

Manual desain yang membahas lebih detail mengenai saluran drainase adalah Perencanaan Sistem Drainase Jalan Pd T-02-2006-B (Departemen Pekerjaan Umum, 2006). Pada manual desain ini diuraikan secara detail mengenai drainase permukaan, yang berfungsi untuk mengendalikan limpasan air hujan di permukaan jalan sehingga tidak merusak struktur perkerasan. Sistem drainase ini terdiri atas kemiringan melintang perkerasan dan bahu jalan, saluran samping jalan, drainase lereng, dan gorong-gorong, serta drainase bawah permukaan, yang berfungsi untuk menurunkan air tanah dan mencegat air infiltrasi dari air di sekitar jalan atau air yang naik dari tanah dasar.

Hal yang menarik dari manual desain Pd T-02-2006-B ini adalah adanya rekomendasi mengenai sistem drainase untuk melindungi lapisan fondasi dari adanya air yang melewati retak atau celah di permukaan jalan, yaitu dengan memanfaatkan filter agregat halus untuk kemudian air akan dialirkan ke pipa saluran di samping, seperti terlihat pada Gambar 2.

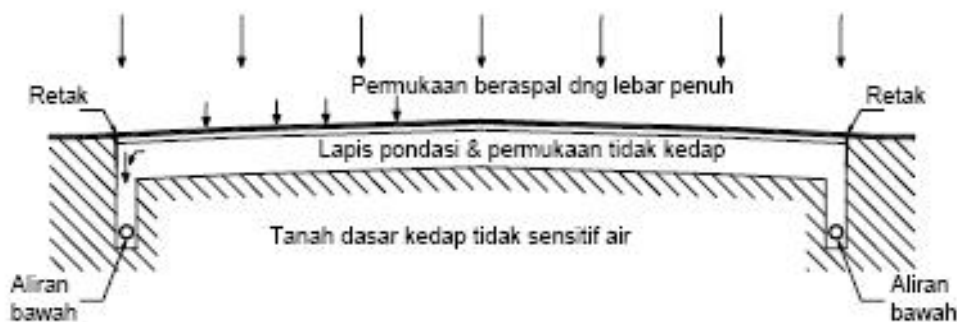


Sumber: Departemen Pekerjaan Umum, 2006

Gambar 2 Solusi Infiltrasi Air yang Melalui Retak atau Celah di Permukaan Jalan

Manual Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2013

Manual ini memberikan panduan mengenai perancangan sistem drainase, walaupun hanya secara garis besar. Salah satu contohnya adalah ketentuan untuk menyediakan saluran drainase bawah permukaan (*subsurface pavement drainage*) dengan tujuan untuk mengakomodir lapisan fondasi bawah yang disyaratkan harus mampu mengalirkan air. Hal ini diperlukan agar air yang dapat memasuki perkerasan jalan dapat segera dialirkan melalui lapisan fondasi bawah. Hal ini juga bermanfaat apabila permukaan tanah di sekitar badan jalan lebih tinggi dari tinggi lapisan fondasi bawah, sehingga aliran air tidak terjebak pada lapisan yang bersifat kedap. Ujung saluran drainase bawah permukaan ini adalah saluran atau struktur lain yang kedap, sehingga dapat menutup aliran air dari lapisan fondasi bawah untuk dialirkan menuju ke titik keluar, seperti terlihat pada Gambar 3. Desain ini mirip dengan desain pada Perencanaan Sistem Drainase Jalan Pd T-02-2006-B (lihat Gambar 2). Alternatif kedua adalah dengan seperti desain eksisting, yaitu lapisan permukaan dan fondasi kedap air, namun bahu dibuat tidak kedap sehingga air dapat mengalir bebas melalui bahu jalan, seperti terlihat pada Gambar 4.



Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013

Gambar 3 Ilustrasi Saluran Drainase Bawah Permukaan



Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013

Gambar 4 Ilustrasi Sistem Drainase Melalui Bahu Jalan

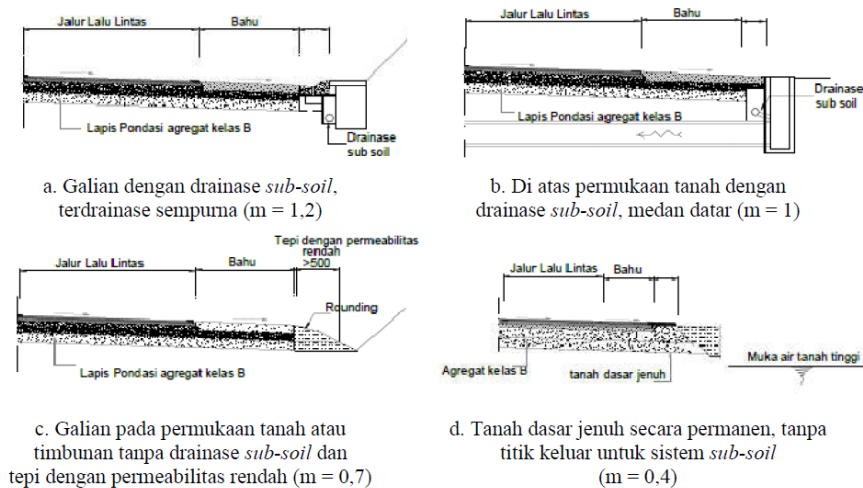
Usulan solusi pada Gambar 2 sampai dengan Gambar 4 sudah cukup baik, namun perlu adanya *engineering judgement* mengenai penerapan usulan solusi tersebut. Selain itu manual desain ini juga tidak membahas desain sistem drainase terkoneksi antara sistem drainase jalan dan sistem drainase lokal atau parsial, padahal sistem drainase parsial ini merupakan salah satu kontributor tidak optimalnya sistem drainase jalan eksisting.

SOLUSI TERHADAP SISTEM DRAINASE

Dengan melihat kondisi Jalan Pantura yang sudah kapasitasnya sudah dilampaui dan ditambah dengan pengaruh lingkungan yang sangat sulit diprediksi, wacana pengurangan jumlah beban dengan cara *demand sharing* ke moda lain merupakan pilihan yang logis. Namun, meskipun distribusi beban telah dilakukan, upaya pembenahan Jalan Pantura tetap harus dilakukan agar jalan ini dapat melayani lalu lintas sampai dengan akhir umur rencana. Upaya-upaya pembenahan, terutama yang terkait dengan sistem drainase, perlu dilakukan.

Pemilihan Desain Sistem Drainase Berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2013

Manual desain ini sebetulnya menawarkan contoh-contoh desain sistem drainase (Gambar 5) pada beberapa kondisi drainase yang dinyatakan dalam koefisien drainase “m” (lihat Tabel 1 dan 2). Namun, diperlukan adanya *engineering judgement* dan inovasi berdasarkan kondisi spesifik dari lapangan, sehingga pemilihan desain yang sesuai dapat dilakukan. Dari semua desain yang ditawarkan, saluran drainase bawah permukaan (*sub-soil drainage system*) merupakan sesuatu yang harus ada dalam sistem drainase jalan.



Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2013

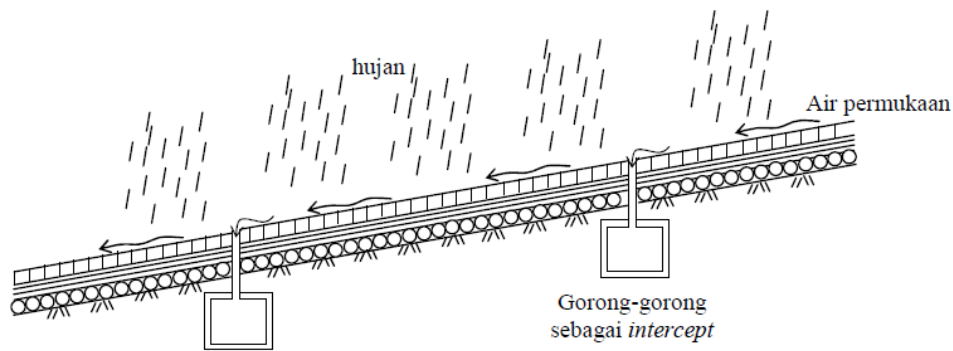
Gambar 5 Beberapa Contoh Desain Sistem Drainase Menurut Manual Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2013

Walaupun manual desain mengizinkan nilai m sebesar 1,2 untuk digunakan, namun nilai m sebesar 1 lebih direkomendasikan, kecuali dapat dijamin bahwa kualitas pelaksanaan pekerjaan yang disyaratkan dapat terpenuhi. Untuk mendapatkan nilai m sebesar 1 disyaratkan untuk mendesain secara jelas saluran samping dan *sub-soil* akan berakhir pada suatu *outlet*. Namun bila ditemui desain dengan nilai m kurang daripada 1 (seperti Gambar 5c dan 5d), lapisan berbutir harus dipertebal untuk memperkuat struktur perkerasan dengan membagi tebal lapisan berbutir dengan nilai m .

Hal yang tidak kalah penting dari sekedar memilih desain yang sesuai adalah perlunya perbaikan tanah dasar dalam rangka meningkatkan daya dukung tanah dasar. Untuk itu ahli geoteknik perlu disertakan dalam mempersiapkan tanah dasar khususnya bila ditemui permasalahan tanah ekspansif dan tanah lunak pada lokasi perkerasan jalan.

Pembuatan Saluran Penangkap pada Drainase Permukaan

Usulan pembuatan saluran penangkap (*intercept*) ini lebih diutamakan pada jalan dengan kemiringan longitudinal yang cukup besar dan panjang. Pada ruas jalan dengan karakteristik seperti ini kecepatan air permukaan dalam arah longitudinal lebih besar dibandingkan kecepatan air dengan arah transversal, sehingga aliran air cenderung ke arah tempat yang lebih rendah dibandingkan ke arah samping dan penyediaan *outlet* pada trotoar dan/atau median menjadi kurang bermanfaat. Dengan banyaknya air yang mengalir ke bawah, air yang terkumpul pada cekungan akan merendam perkerasan jalan sehingga dapat berdampak pada tingginya kerusakan *stripping*, *raveling*, dan *potholes* pada lokasi cekungan tersebut. Saluran penangkap ini dapat dibuat di atas gorong-gorong yang berjarak tertentu (lihat Gambar 6).



Gambar 6 Ilustrasi Penggunaan Gorong-gorong sebagai Intercept Air Permukaan

Solusi ini mungkin akan dapat bekerja dengan baik sebagai salah satu bagian sistem drainase. Namun, adanya lubang *intercept* di setiap interval tertentu dapat memberikan ketidaknyamanan tersendiri bagi pengguna jalan. Selain itu, apabila dilakukan proses pelapisan ulang pekerjaan harus dilakukan secara teliti karena dapat menyebabkan tertutupnya saluran *intercept* oleh lapisan beraspal.

Sistem Drainase Berkelanjutan

Konsep dari Sistem Drainase Berkelanjutan (SDB) berbeda dengan sistem drainase konvensional. Bila sistem drainase konvensional bertujuan untuk membuang air permukaan secepatnya dari permukaan perkerasan ke saluran samping, SDB bertujuan untuk mengendalikan kelebihan air permukaan yang dapat dimanfaatkan untuk persediaan air baku dan kehidupan akuatik dengan meresapkan air permukaan sebanyak-banyaknya ke dalam tanah yang dilengkapi dengan penyaringan polutan. SDB adalah konsep yang mempertimbangkan faktor lingkungan dan sosial dalam membuat keputusan tentang sistem drainase. SDB memperhitungkan kuantitas dan kualitas limpasan serta nilai layanan air permukaan dalam ekosistem. SDB diharapkan dapat menjamin keberlanjutan dibandingkan sistem drainase konvensional, karena mengendalikan laju limpasan dan mengurangi dampak urbanisasi terhadap debit banjir, melindungi atau memperbaiki kualitas air, lebih memperhatikan kondisi lingkungan dan kebutuhan masyarakat setempat, menyediakan habitat bagi hewan dan tumbuhan liar bagi badan air di lingkungan sekitar, dan mendorong berlangsungnya imbuhan air tanah.

KESIMPULAN

Pengaruh air terhadap perkerasan jalan mempunyai dampak yang besar dan seringkali tidak terprediksi. Paradigma yang saat ini masih dianut adalah bagaimana mengalirkan air permukaan yang berasal dari air hujan secepat mungkin keluar dari perkerasan jalan sehingga tidak mengganggu daya dukung material perkerasan jalan. Di sepanjang Jalan Pantura konsep ini seringkali gagal dalam memberikan kontribusi terhadap

upaya mempertahankan jalan tetap dalam kondisi mantap, apalagi ditambah dengan faktor beban muatan lalu lintas berlebih sangat besar. Banyak alternatif solusi yang diterapkan tidak memberikan hasil yang maksimal di Jalan Pantura ini.

Pilihan *demand sharing*, dengan mengintegrasikan infrastruktur transportasi, merupakan pilihan yang paling rasional saat ini. Namun, upaya pembenahan Jalan Pantura yang terkait dengan sistem drainase tetap harus dilakukan, agar umur layan Jalan Pantura dapat tercapai. Upaya pembenahan ini dapat berupa *engineering judgement* pada saat aplikasi desain sistem drainase yang ditawarkan oleh sejumlah manual desain, pemanfaatan sistem saluran penangkap (*intercept*) air permukaan, dan penerapan sistem drainase berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Pekerjaan Umum. 2006. *Perencanaan Sistem Drainase Jalan, Pedoman Konstruksi dan Bangunan Pd T-02-2006-B*. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1997. *Tata Cara Perencanaan Geometrik Jalan Antarkota No. 038/TBM/1997*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2002. *Pedoman Penentuan Tebal Perkerasan Lentur Pd T-01-2002-B*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2013. *Manual Desain Perkerasan Jalan No. 02/M/BM/2013*. Kementerian Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Nantung, T.E. 2014. *From Design to Maintenance Long Life Pavement*. Workshop HPJI. Jakarta.